

Метод стабилизации поступательного движения подводного аппарата

С. Н. Пышнев, Чанг-ли Ю, И. Е. Данильченко

Харбинский технологический институт (г. Вейхай, КНР),
Национальный институт кораблестроения (г. Николаев, Украина)
Corresponding author: sergei_pyshnev@mail.ru

Paper received 10.08.18; Accepted for publication 18.08.18.

<https://doi.org/10.31174/SEND-NT2018-179VI21-17>

Аннотация. Рассматривается режим поступательного движения привязных и автономных подводных аппаратов под действием двигателей. Анализируется поведение аппаратов в водной среде и способы стабилизации их движения. Поскольку среди аппаратов можно встретить и хорошо обтекаемые тела, рассчитанные на движение с большими относительными скоростями, и малоподвижные платформы, несущие на себе оборудование, открытое действию воды, подходы к решению этой задачи различны. Часто к аппаратам предъявляются требования повышенной маневренности, а ходкость отступает на второй план. Отсюда формируются подходы к выбору энергооборуженности и движительно-рулевому комплексу. При расчетах статике и динамики, имеются особенности, отличающие подводные аппараты от обычных плавучих объектов. Для них, в большинстве случаев, достичь высокой остойчивости не удастся. Нужно предусматривать либо избыточные объемы внутри прочного корпуса, неиспользуемые для размещения оборудования, либо дополнительные блоки плавучести из легкого материала, размещаемые вне прочного корпуса аппарата. Возможности понижения центра тяжести подвижками оборудования также ограничены. В связи с этим возникает проблема с обеспечением необходимой остойчивости как в статике, так и в динамике, хотя для подводного аппарата понятие опрокидывания существенно отличается от надводных судов. Предлагается методика выбора в первом приближении минимально необходимой метацентрической высоты для привязных систем и площади стабилизирующих устройств для автономных аппаратов. Предлагаются пути регулирования остойчивости и ее нормирования.

Ключевые слова: остойчивость, подводный аппарат, стабилизация движения, метацентрическая высота, нормирование остойчивости.

Введение. При проектировании подводных аппаратов как привязных так и автономных самоходных устройств, эксплуатирующихся в режиме свободного движения, возникает вопрос о применении специальных устройств или конструктивных мероприятий стабилизирующих их движение в различных плоскостях. Основными движениями аппарата являются горизонтальное и вертикальное перемещение. Возмущения в движении имеют разные причины. Это может быть плохая гидродинамическая балансировка, боковое течение, несимметрия корпуса и т.д. Различается и характер обтекания, связанный с различием формы корпуса. В самом деле, среди аппаратов можно встретить и хорошо обтекаемые тела, рассчитанные на движение с большими относительными скоростями, и малоподвижные платформы, несущие на себе оборудование, открытое действию воды и предназначенное для выполнения работ в локальном пространстве.

Краткий обзор публикаций по теме. Исследованиями динамики и остойчивости подводных аппаратов занимались многочисленные исследователи. А. Басин в фундаментальном труде по остойчивости и управляемости судов [4] еще в 1949 году дал обобщенные формулы для расчета рулевых устройств надводных судов, которые можно использовать для оценки автоматической остойчивости движения, применительно к надводным объектам. Пантов Е.Н., и группа исследователей в 1973 году сформулировали основные математические положения теории движения автономных подводных аппаратов [10], однако их работа носит скорее постановочный характер и дает широкое поле для исследователей. L.Greyener в 1978 году в своем труде по гидродинамике и энергетике подводных аппаратов [5] предлагает несколько частных решений по выбору формы и стабилизирующих устройств автономных подводных аппаратов. Однако автор монографии рассматривает в основном хорошо обтекаемые тела не касаясь вопросов плохо обтекаемых конструкций. Напротив, в работе С.Девнина по аэродинамике плохообтекаемых конструкций 1983

года [6], справочниках Я. Войткунского 1985 года [2] и В. Дробленкова 1984 года [3], приведены многочисленные данные по коэффициентам сопротивления и присоединенным массам для тел различной формы, которые возможно применить в расчетах. Академик М. Агеев в монографии по автоматизированным подводным аппаратам [1] в 1981 году дал практические рекомендации по проектированию автономных ПА, однако вопросы управляемости и устойчивости движения остались не раскрытыми. Профессор В.Шостак в 2009 году в своей монографии о подводных роботах [8] дает ряд оригинальных теоретических обоснований по определению статической и динамической остойчивости ПА, но с практической точки зрения предлагаемая им методика достаточно сложная и не дает возможности сравнительного анализа результатов. Автор данной статьи также в одной из работ рассматривал проблему стабилизации процесса всплытия тел цилиндрической формы в 1987 году [9] и предложил методику выбора и критерии для выбора площади стабилизаторов для стабилизации режима всплытия.

Цель. Целью данной статьи является разработка методики определения на начальных стадиях проектирования метацентрической высоты и площади стабилизирующих устройств для различных типов подводных аппаратов. Предложены расчетные методики, позволяющие упростить процедуру выбора метацентрической высоты и площади стабилизирующих плоскостей, определяющих характер движения аппаратов в интересующих режимах.

Материалы и методы. Важно отметить, что фактически мы рассматриваем две группы подводных объектов: первая, это плохообтекаемые тела с относительно невысокими скоростями перемещения у которых $Re \leq 0,5 \times 10^6$ и соотношениями L/B V/H около 1,0; вторая группа это хорошо обтекаемые тела у которых $Re > 0,5 \times 10^6$, а $L/B > 5$. В подводном положении ватерлиния отсутствует, и остойчивость определяется только взаимным положением центра тяжести и центра вели-

чины. Поэтому диаграмма статической устойчивости имеет положительные значения плеч устойчивости и синусоидальный вид при условии, что центр тяжести располагается ниже центра величины.

$$M_{\theta} = G h \sin\theta = G(\rho + Z_c - Z_g)$$

Величины G -водоизмещения, h -метацентрическая высота, ρ , Z_c , Z_g (метацентрического радиуса, аппликаты центра величины и центра тяжести) при наклонениях сохраняют постоянные значения, независимо от угла наклона. Положительная устойчивость при наклонениях от 0 до 180 градусов обеспечена условием $Z_c > Z_g$; , при котором аппарат всегда устойчив. Наибольший восстанавливающий момент возникает при угле крена $\theta=90$ градусов. Однако, несмотря на это, величина наибольших допустимых наклонений ограничивается эксплуатационными требованиями.

Семейство подводных аппаратов включает множество разновидностей. Они отличаются архитектурно-конструктивным типом, включая форму корпуса, конструктивные элементы, системы движения, системы управления и комплектующее оборудование. Уравнения движения НПА в данном случае будут справедливы, если углы рыскания и дифферента малы и практически не превосходят 10 градусов. В общем случае координаты центра тяжести Z_g , центра величины Z_c и центра бокового сопротивления X_{gh} не совпадают. Вертикальная или поперечная устойчивость аппарата должна обеспечиваться при условии

$$Z_c - Z_g > 0; \quad (1)$$

Это необходимое, но не достаточное условие для обеспечения устойчивого продольного движения. Дополнительно накладываем ограничение: центр бокового сопротивления X_{hg} должен быть кормеее X_g и X_c . Фактически нам необходимо выяснить при каких величинах

$$Z_c - Z_g = h; \text{ и } X_c - X_{hg} > 0;$$

обеспечивается устойчивое движение аппарата в заданном направлении. Проектируя подводные аппараты, часто приходится типовые расчеты устойчивости дополнять экспериментальными данными. В качестве такого эксперимента были выполнены конструкторские проработки общего расположения и весовой нагрузки пяти подводных аппаратов плохобтекаемой формы водоизмещением от 32 до 400 кг. Были выполнены разработки общего расположения каждого из проектов и определен состав весовой нагрузки. Каждый из вариантов был удифферентован и обладал положительной устойчивостью, которая могла изменяться с помощью грузов.

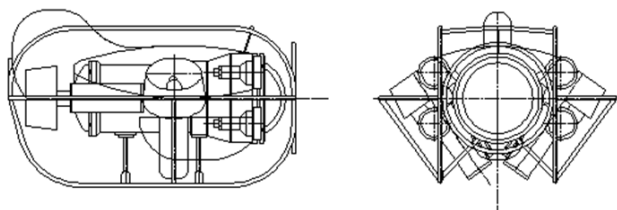


Рисунок 2. Общий вид компоновка и характеристики ROV «Микрон 200»: рабочая глубина, м - 200; габаритные размеры НПА, м - 0,68×0,58×0,40; Скорость НПА, м/с: маршевая - 1,6; вертикальная - 0,8; Масса НПА , кг - 32.

Были проведены бассейновые и натурные испытания для определения метацентрическая высота каждого из проектов, которая при заданной скорости обеспечивала его горизонтальное и вертикальное перемещение с кре-

ном не более 3-5 градусов. Определение положения центра тяжести и плеча устойчивости сопровождалось графическими проработками и расчетами по адмиралтейской формуле. При расчете массы аппаратов использовались данные из технических условий и других документов на оборудование

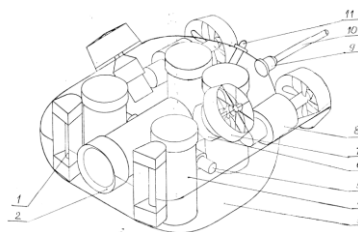


Рисунок 3. Общий вид и компоновка ROV «Скарабей»: рабочая глубина, м - 3000; габаритные размеры НПА, м - 0,78×0,60×0,55; Скорость НПА, м/с: маршевая - 1,6; вертикальная - 1,2;

Данные натурных экспериментов обрабатывались в виде таблиц и графиков. Для удобства сопоставительного анализа уровня необходимой устойчивости был использован модуль *LBH*, являющийся производением главных размерений объекта. Общий вид и схемы общего расположения проектов «Микрон 200», «Скарабей», «Диаф 300» и «Посейдон-М» представлены на рисунках 2, 3, 4 и 5. Рассмотрены разные скоростные режимы движения, чтобы показать динамику необходимого изменения h .

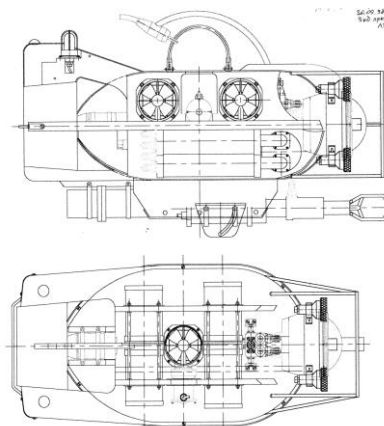


Рисунок 4. Схема общего расположения многоцелевого НПА «Диаф 300» рабочая глубина, м - 300; габаритные размеры НПА, м - 1,20×0,66×0,68; Скорость НПА, м/с: маршевая - 2,6; вертикальная - 1,2; Масса НПА , кг - 83.

Результаты и их обсуждение. Обработка результатов натурных испытаний указанного выше ряда проектов, проведенных в период 1995- 2008 гг. позволила обобщить результаты и сделать предположение, что для получения удовлетворительных результатов проектирования устойчивость аппаратов должна отвечать минимальным требованиям, при положительном значении h метацентрической высоты. Главные размерения и кубический модуль представленных выше проектов приведены в таблице 1.1. Результаты замера h , представленные на рисунке 6 дают возможность прогнозировать с определенными допущениями минимально необходимую величину метацентрической высоты

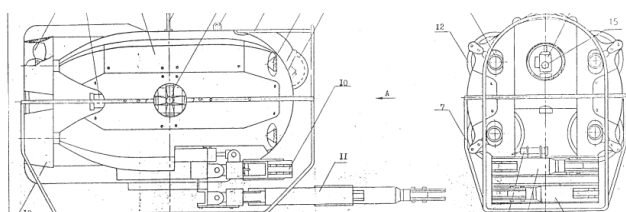


Рисунок 5. Общий вид компоновка и характеристики ROV «Поседон -М»: рабочая глубина, м - 600; габаритные размеры НПА, м - 1,55×1,10×1,0; Скорость НПА, м/с: маршевая - 2,2; вертикальная – 1,50; Масса НПА , кг - 240.

Графики изменения метацентрической высоты h , соответствующие различным скоростям представлены на рисунке 6. Данные величины h гарантируют минималь-

Таблица 1.

$L \times B \times H, m$	0,68x0,58x0,40	0,78x0,60x0,55	1,2x0,66x0,68	1,55x1,10x1,0	1,70x1,20x1,00
LBH, m^3	0,157	0,258	0,539	1,705	2,040

$$h = 0,098(v)^{0,67} (LBH)^{0,5}; \quad (2)$$

где v - проектная скорость аппарата, м/с

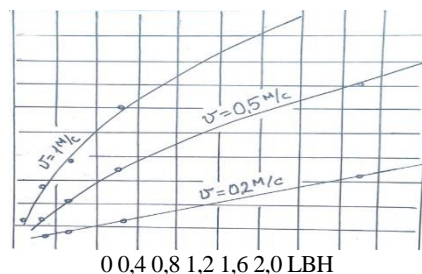


Рисунок 6. Зависимость метацентрической высоты h от размеров и скорости движения НПА при обеспечении условия его стабильного перемещения.

В связи с этим возникает проблема с компенсацией действию внешних сил и в статике, и в динамике, хотя для подводного аппарата понятие опрокидывания приобретает иное содержание, ведь крен может достигать 180° . Если удастся обеспечить плечо вертикальной устойчивости порядка 7-8 % от высоты конструкции аппарата это считается приемлемым результатом. В общем случае условие устойчивого движения НПА определится выражением

$$M_{вос} > M_{опр}, \quad (3)$$

где $M_{вос}$ и $M_{опр}$ восстанавливающий и опрокидывающий моменты, действующие на движущийся объект. С учетом этого условия рассмотрим, при каких соотношениях геометрических размеров и распределении масс по длине и высоте аппарата выполняется отношение (3).

Наряду с проблемой малой устойчивости для подводных аппаратов технологического назначения характерно контактное взаимодействие с другими объектами. Необходимо гасить реакцию со стороны объекта работы и сохранять пространственное положение аппарата. Это будет способствовать эффективному выполнению задачи. Контакты могут иметь непредсказуемый характер, возможны всплески усилий по величине и времени действия. На них надо реагировать, а в любой системе управления присутствуют такие отрицательные эффекты, как запаздывание сигналов, инерционность исполнительных органов, неточности математических моделей процессов и программного обеспечения. В связи с этим целесообразно в дополнение к средствам управления положением аппарата предусматривать на аппарате фиксирующие устройства с использованием различных

но достаточную остойчивость аппарата при горизонтальных и вертикальных перемещениях. Для расчетов на ранних стадиях проектирования можно воспользоваться аппроксимацией графиков (Рис. 6).

Что касается расчетов статики и динамики, то имеются особенности, отличающие аппараты от обычных плавучих объектов. Возможности понижения центра тяжести объекта подвижками оборудования ограничены. В конструкции нужно предусматривать либо избыточные объемы внутри прочного корпуса, неиспользуемые для размещения оборудования, либо дополнительные блоки плавучести из легкого материала, размещаемые вне прочного корпуса аппарата.

физических принципов – механических захватов, пневматических присосок, электромагнитов и прочего. Очевидно, что вопросы остойчивости подводных аппаратов, как и вопросы плавучести не могут решаться изолированно. В тесной связи с ними находятся задачи динамики, и параметры комплектующих устройств и систем. Вопрос оценки и назначения динамической остойчивости содержит много не решенных теоретических вопросов. Одним из них является учет демпфирования. Для надводных судов демпфирование, как правило, не учитывается. Это оправдано по причине малости демпфирующего момента в сравнении с восстанавливающим при поперечных наклонениях. Известно также, что реальные динамические нагрузки для надводных судов очень редко приводят к опрокидыванию. У надводных судов максимальный восстанавливающий момент наступает при крене $55-60^\circ$, а для подводных объектов динамическое равновесие наступает при крене около 90° градусов и вызывается меньшим по величине внешним дифференцирующим моментом. Если ввести ограничение по динамическому углу крена, например, принять $\psi < 75^\circ$, то соотношение между предельно допустимыми внешними моментами еще более склоняется в пользу учета демпфирования. С учетом оценки по двум критериям – по моменту и по углу можно утверждать, что реальная динамическая остойчивость подводного аппарата, как качество, значительно выше той, которая определяется при традиционном подходе. При действии внезапно приложенного дифференцирующего момента аппарат приобретает нарастающую угловую скорость и угловое ускорение. На первом этапе наклона скорость растет от нуля до максимума, а затем на втором этапе падает до нуля, когда наступает динамическое равновесие. Нулевая скорость второго этапа соответствует наибольшему динамическому крену. При этом большие выступающие части играют положительную роль, увеличивая период наклона. Движение аппарата описывается линейным дифференциальным уравнением второго порядка (4).

$$(I + k_{55}) \psi'' + \psi k + GH\psi = M \quad (4)$$

Сопrotивление при угловых перемещениях в продольной плоскости оказывается существенным и подобные внешние воздействия следует учитывать отдельными проверочными расчетами.

Несколько иная ситуация с аппаратами второй группы, с большим удлинением корпуса. В большинстве

случаев круговая форма корпуса аппарата при относительном удлинении $L/D \geq 5$ обладает малой метацентрической высотой и зависимостью гидродинамических характеристик от кинематических параметров движения. Многие автономные аппараты (АПА) имеют как неподвижные так и подвижные горизонтальные и вертикальные рули (элероны). При повороте левой и правой плоскостей на углы δ_l и δ_n дифференцирующий момент управления определяется их средним значением $\delta_r = 0,5(\delta_l + \delta_n)$, а кренящий – разностью $\Delta\delta_r = \delta_l - \delta_n$. Другая конструктивная особенность АПА заключается в том, что при одновальной двигательной установке движитель создает опрокидывающий момент, вызывающий крен аппарата. И только при наличии двух соосных винтов с противоположным вращением удается этого избежать. Двухвальная компоновка лишена этого недостатка. Сила тяги ориентируется по оси Ox . Сопутствующие дифференцирующий и кренящий моменты, которые могли бы играть роль дополнительных возмущений исключаются.

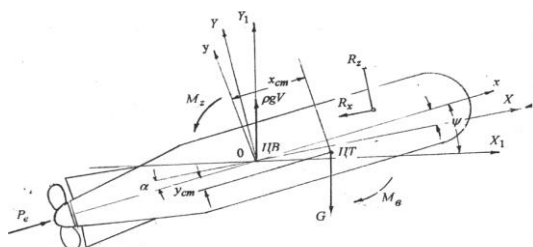


Рисунок 7. – Действие внешних сил на маневрирующий автономный подводный аппарат

Внешние силы и моменты, представленные системой из 6 уравнений должна быть дополнена уравнениями связи общего вида. Эта модель используется для анализа глубокого маневрирования аппарата, крена и дифферента. Режимы малого маневрирования и стабилизации можно исследовать по упрощенным линеаризованным уравнениям. При составлении уравнений динамики АПА следует иметь в виду, что его форма шпангоутов может не соответствовать круговой. Для повышения устойчивости аппарата шпангоуты проектируют в виде вертикально вытянутого эллипсоида с развитым кормовым оперением в виде стабилизаторов, вертикальных рулей и элеронов (рис. 7). Поэтому в матрице присоединенных масс и моментов инерции необходимо учитывать также недиагональные элементы. При симметрии аппарата относительно продольной оси кроме диагональных коэффициентов присоединенных масс $\lambda_{11}, \lambda_{22}, \lambda_{33}, \lambda_{44}, \lambda_{55}, \lambda_{66}$ значимую величину имеют $\lambda_{26} = \lambda_{62}$ и $\lambda_{35} = \lambda_{53}$. Уравнения динамики пространственного движения АПА в общей форме преобразуются в систему из 6 дифференциальных уравнений [10]. В процессе движения происходят малые колебания переменных состояния (углов атаки и дрейфа, рыскания, крена и дифферента) и управляющих воздействий (углов перекадки вертикального и горизонтального рулей). Предположение о малых значениях углов Эйлера позволяет использовать упрощенные уравнения связи. При хорошей гидродинамической балансировке аппарата, когда достигается совпадение точки приложения силы водоизмещения с центром масс, уравнения бокового и продольного движения АПА оказываются независимыми. Специфика подводных аппаратов проявляется в отсутствии пози-

ционных моментов в уравнениях бортовой и килевой качки. Также отсутствуют позиционные силы в уравнении вертикальных перемещений. Это означает, что аппарат обладает очень малой статической устойчивостью и его устойчивое движение, также как и маневрирование, возможно обеспечить с помощью вертикальных и горизонтальных рулей [9,10].

Использование математического моделирования на начальных стадиях проектирования требует много времени и не всегда оправдано. В большинстве случаев предлагается использовать упрощенную методику оценки устойчивости АПА и конструктивных мероприятий по обеспечению устойчивого движения в заданном направлении. Вторая часть экспериментальной работы состояла в буксировке несамходных моделей торпедообразной формы с круговыми шпангоутами относительное удлинение менялось от 4,6 до 8,8. Менялась также площадь кормовых стабилизаторов. Метацентрическая высота буксируемых объектов создавалась постоянной на уровне 10% диаметра корпуса. Подобно предыдущим рассуждениям обратимся к условию (3).

Опрокидывающий и восстанавливающий моменты можно представить в виде (5), (6). Где v_x – скорость поступательного движения; S_x – площадь проекции аппарата на плоскость XY; S_{st} – площадь стабилизаторов; X_h и X_{st} координаты центров бокового сопротивления корпуса и стабилизаторов.

$$M_{опр} = 0,5\rho(v_x)^2 S_x C_x (x_c - x_{gh}) \sin\psi \quad (5)$$

$$M_{вос} = 0,5\rho(v_x)^2 S_{ст} C_y (x_c - x_{ст}) \sin\psi \quad (6)$$

Коэффициент подъемной силы профилированного стабилизатора изменяется при различных углах атаки набегающего потока α . В диапазоне 3-10 градусов для оценки C_y можно рекомендовать формулу (7) [11, 12]

$$C_y = (1,1 Re^{10^{-7}} + \frac{6\alpha}{57,3} - 0,15); \quad (7)$$

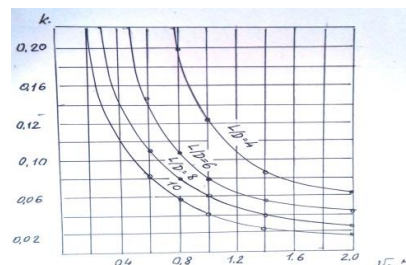


Рисунок 8. Зависимости коэффициента k_x от скорости аппарата и относительного удлинения L/D .

Как итог работы с формулами (5) и (6) можно построить графики зависимостей отношения

$\frac{S_{st}}{S_x} = k_x$ в функции скорости и относительного удлинения аппарата. Эти графики могут быть аппроксимированы формулой (8).

$$k_x = (0,015 + \frac{0,36D}{v_x L}) \quad (8)$$

Коэффициент k_x с относительной ошибкой 7-10% позволяет назначить площадь стабилизирующих устройств для АПА в диапазоне скоростей 1-4 узла.

Выводы:

Анализ экспериментальных данных вариантов проектно-конструкторской реализации моделей и натуральных объектов указывает на то, что:

1. Наибольшее влияние на выбор площади стабилизаторов оказывает скорость эксплуатации аппарата, в

меньшей степени внешняя форма и соотношение главных размерений L/H или L/D .

2. Для оценочных расчетов начального этапа проектирования можно воспользоваться зависимостями (2) и (8), которые с точностью 7-10% позволяют определить необходимую величину метацентрической высоты или площадь стабилизаторов на ранних стадиях проектирования.

3. С увеличением размеров аппарата расширяется возможность вариаций положения центров тяжести и величины.

4. Для АПА с хорошо обтекаемой формой корпуса площадь стабилизирующих устройств зависит, в основном, от скорости и слабо от относительного удлинения корпуса асимптотически приближая k_x к 2%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агеев М.Д., Касаткин Б.А., Киселев Л.В. и др. Автоматические подводные аппараты. – Ленинград: Судостроение, 1981, 234стр.,ил.
2. Войткунский Ю.И. Справочник по теории корабля (в трех томах) Л.: 1985 ПДФ/Дж Ву, Рус.768 стр. 389-394.
3. Дробленков В.Ф., Ермолаев А.И., Моор Н.П. и др. Справочник по теории корабля. Москва, Воениздат, 1984 - 589 стр. 267-271.
4. Басин А.М., Теория устойчивости на курсе и поворотливости судов. Л.: Гостехтеориздат, 1949 г.226 с. 110-114с.
5. Л. Грейнер, Гидродинамика и энергетика подводных аппаратов, Л.:Судостроение, 1978, 256 с. 26-38 .
6. Девнин С.И., Аэродинамика плохообтекаемых конструкций, Справочное пособие. Л.: Судостроение, 1983, 126 стр. 76 - 83.
7. Слижевский. Н.Б., Ходкость и управляемость подводных технических средств. Учебное пособие. –Николаев:УГМТУ 1998. -148с. Ил.
8. Шостак В.П. Подводные аппараты, роботы и их манипуляторы. – Чикаго, Мегатрон: 2011, -134 с..
9. Пышнев С.Н. Выбор стабилизирующих устройств для автономных подводных аппаратов на ранних стадиях проектирования//Автоматизированное проектирование и констр уирование судов. Сб.научных трудов НКИ №3. Николаев, НКИ 1987, стр13-18.
10. Пантов Е., Махин Н., Шереметов Б., Основы теории движения подводных аппаратов. Л.: Судостроение, 1973. -211. с.45-54.
11. Вашедченко А.Н., Пышнев С.Н., Родичев А.П. Некоторые расчеты при проектировании подводных аппаратов. Учебное пособие – Николаев, УГМТУ, 1997, 66 с.23-38.
12. Вашедченко А.Н. Расчеты главных размерений подводных аппаратов. Учебное пособие. – Николаев, НКИ, 1991 - 46с. 17-24.

REFERENCES

1. Ageyev M. D., Kasatkin B. A., Kiselev L. V., etc. Automatic underwater vehicles. – Leningrad: Sudostroenie, 1981, -234с
2. Voitykunski Y. I. Handbook of ship theory (in three volumes) L: 1985 PDF/DjVu, Rus,768 p 389-394.
3. Droblenkov V. F., Ermolaev A. I., Moore, N. P. Handbook of the ship theory. – M.: Military publishing house, 1984. -589 p. 267-271.
4. Basin A.M., Teoriya ustoychivosti na kurse I povorotlivosti sudov. –L.:Gosteehteorizdat,1949, 226 p., 110-114.
5. L. Greiner, Hidrodinamika and energetika of underwater vehicles. – L.:Sudostroenie,1978, 256p.,34-38.
6. Devnyn S. I. Aerodynamics of prooobably structures: a Handbook. Leningrad: Sudostroenie, 1983.-126p.,78-83.
7. Slizhevski.B., Korol J., Sokolik M. calculation of the Hydrodynamic self-propelled underwater vehicles. Textbook. – Nikolaev: UGNTU, 2000. - 93 p., 34-39.
8. Shostak, V. Underwater vehicles, robots and manipulators. – Moscow: GEOS: 2009, -114 p. 19-33.
9. Pyshniev S. The choice of the stabilizing devices of autonomous underwater vehicles in the early stages of design // Automated the design and construction of ships. Issus of scientific Works NKI №3 – Nikolaev, NKI, 1987. 13-18 .
10. Pantov E., Mahin N., Sheremetov B. Fundamentals of the theory of movement of underwater vehicles. – Leningrad: Sudostroenie, 1973. – 211. 45-53.
11. Vashedchenko A., Pyshniev S., Rodichev A.. Some estimates in the design of underwater vehicles. Teach. book – Nikolaev: UGMTU, 1997, 66 p.; 23-28.
12. Vashedchenko A. The definition of the main elements of the underwater vehicle: Teach. book – Nikolaev:, NKI, 1991. – 46 p.17-21

Method of Underwater Vehicles stabilization when it forward movement

S. Pyshniev, Chang-Li Yu, I. Danilchenko

Abstract. Discusses the various modes of motion of an autonomous underwater vehicle: horizontal, vertical, under the action of propulsion. Analyses the behavior of the vehicle in an aqueous environment and methods of its stabilization. Since the vehicle can be designed as well-streamlined body for movement with large relative velocities and may be slow-moving platform carrying equipment for yourself that is open to water, the approaches to this task are different. Often working vehicles are required increased maneuverability and propulsion recedes into the background. Hence are formed the approaches to the choice of power and propulsion and steering complex. With regard to calculations of statics and dynamics, there are features that differentiate the underwater vehicle from conventional floating objects. In most cases, to achieve high stability fails. It is necessary to provide or excessive volume inside the pressure hull, not used for equipment or additional buoyancy of a lightweight material, placed outside the hull of the vehicle. The possibility of lowering the center of gravity by movement of equipment is also limited. In this regard, there is the problem with the opposition to the action of external forces in static and in dynamics, although for underwater vehicle the concept of tipping is becoming more content. The technique of a choice the metacentric height and area of the stabilizing of the vehicle, the possibility of regulation of stability and its standartisation. The analysis of experimental data of variants of design realization of models and natural objects indicates that: The greatest influence on the choice of the area of the stabilizers is having the speed of operation of the apparatus, and to a lesser extent, the external form and the ratio of the main dimensions of L/H or L/D . To estimate the stability of the initial design stage, one can use the dependencies (2) (8), which with an accuracy of 7-10% allow to determine the required value of the metacentric height or the area of the stabilizer in the early design stages. With the increase in the size of the device expands the possibility of variations in the position of the centers of gravity and magnitude. For AUV with a well-streamlined body shape, the area of stabilizing devices depends mainly on the speed and weakly on the relative body udineniya asymmetricly bringing k_x to 2%.

Keywords: stability, underwater vehicle, motion stabilization, metacentric height, regulation of stability.